

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 軸トルクオブザーバを有する 2 慣性共振系と、モータの角速度指令と 2 慣性共振系の角速度との偏差出力を増幅する比例ゲインの速度アンプと、この速度アンプの出力が供給され、出力に外乱が送出されないようにする外乱抑圧機能部と、この外乱抑圧機能部からの出力が供給され、前記 2 慣性共振系に振動が発生しないように抑制する振動抑制回路とを備えてなる振動抑制装置であって、前記外乱抑圧機能部からの出力信号に負荷機械損トルク補正信号を加算する第 1 の補正手段と、前記振動抑制回路からの出力信号にモータ機械損トルク補正信号を加算する第 2 の補正手段とを有する低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 2】 前記振動抑制回路は 1 次遅れフィルタ部と、このフィルタ部の出力が供給される低慣性化ゲイン部と、このゲイン部の出力と 1 次遅れフィルタ部の入力とを加算する加算部とからなることを特徴とする請求項 1 記載の低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 3】 前記外乱抑圧機能部を負荷トルクオブザーバで構成し、前記第 1 の補正手段が前記負荷トルクオブザーバによるトルク補償後に前記負荷軸摩擦軸トルク成分を加算する手段を有する請求項 1～2 記載の低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 4】 前記第 2 の補正手段が前記振動抑制回路の出力信号に軸振動抑制トルク信号を加算した後にモータの軸摩擦トルク成分を加算する手段を有することを特徴とする請求項 1～3 記載の低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 5】 前記速度アンプを比例積分要素としたことを特徴とする請求項 1～5 記載の低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 6】 軸トルクオブザーバを有する 2 慣性共振系と、モータの角速度指令と 2 慣性共振系の角速度との偏差出力を増幅する比例ゲインの速度アンプと、この速度アンプの出力が供給され、出力に外乱が送出されないようにする負荷トルクオブザーバと、この負荷トルクオブザーバからの出力が供給され、前記 2 慣性共振系に振動が発生しないように抑制する振動抑制回路とを備えてなる振動抑制装置であって、前記負荷トルクオブザーバによる負荷トルクを推定し、該負荷トルクをフィードバックする第 1 の制御系と、2 慣性系負荷時にモータ軸トルクを推定し振動抑制をする第 2 の制御系と、負荷トルクオブザーバによる補償後に負荷の軸摩擦トルク成分を加算する加算器と、軸振動抑制トルクを加算した後にモータの軸摩擦トルク成分を加算する加算器と、出力トルクを制限するトルクリミッタからなる軸振動抑制する速度制御系によって構成したことを特徴とする、

低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 7】 軸振動抑制用の軸トルク推定に使用するトルク指令の値として前記トルクリミッタの出力からモータの軸摩擦トルク成分のフィードフォワード分を減算したトルク成分を用いることを特徴とする請求項 6 に記載の低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【請求項 8】 負荷トルク変動抑制のための負荷トルクの推定に使用するトルク指令の値として、前記トルクリミッタの出力から、モータの軸摩擦トルク成分のフィードフォワード分と、抑動抑制のためのトルク成分と、前記負荷の軸摩擦トルク成分のフィードフォワード分とを減算したトルク成分を用いることを特徴とする低慣性化制御による 2 慣性共振系の振動抑制装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は低慣性化制御による振動抑制装置に係り、特にモータと負荷が弾性軸で結合されているような 2 慣性共振系の振動抑制装置に関する。

【0002】

【従来の技術】エレベータや鉄鋼の圧延機、ロボットのアームなどにおいて電動機と負荷が剛性の低い軸で結合されていると、軸ねじり振動が発生し、速度制御系の応答を速くすることができなくなるという問題がある。軸ねじり振動は電動機と負荷との慣性モーメントの比によって影響を受け、特に負荷の慣性モーメントが電動機より小さい場合はより振動的となり、振動抑制制御はさらに困難なものになる。近年、軸トルクを高速に推定し、トルク指令へフィードバックすることにより、見かけ上のモータ慣性を低くして、安定化を図る共振比（モータ共振周波数と例えばロボットのアーム共振周波数との比）制御手段が提案されている。（参考文献 A：電学論、113 巻 10 号、平成 5 年；共振比制御による 2 慣性共振系の振動抑制制御）

上記文献の共振比制御を用いると、負荷の慣性がモータの慣性より小さい場合でも、良好な振動抑制効果が得られる。しかし、外乱抑圧効果が低下するので、負荷トルクオブザーバを追加して外乱抑圧効果を向上させる方式も提案されている。（参考文献 B：平成 5 年電気学会全国大会、669；共振比制御と SFC による 2 慣性系の制御）

上記のほか、1 慣性系における低慣性化制御方法についても提案されている。（参考文献 C：平成 3 年電気学会産業応用部門全国大会、142；誘導機を用いた低慣性化制御方式）

まず、軸ねじり振動系（2 慣性系）について述べる。軸ねじり振動系については、特開平 4-319715 号公報がある。次にこの公報を基に軸ねじり振動系の運動方程式を示す。図 4 に示す 2 慣性系のモデルから次の運動方程式が得られる。

【0003】

* * 【数1】

$$\omega_M = \frac{1}{T_M S} (\tau_M - \tau_S) \quad \dots (1)$$

$$\omega_L = \frac{1}{T_L S} (\tau_S - \tau_L) \quad \dots (2)$$

$$\tau_S = K_m (\theta_M - \theta_L) + R_m \cdot (\dot{\theta}_M - \dot{\theta}_L) \quad \dots (3)$$

【0004】 (3) 式は次のように表すことができる。 ※ 【数2】

【0005】 ※

$$\tau_S = \frac{1}{T_S S} (\omega_M - \omega_L) + R_m (\omega_M - \omega_L) \quad \dots (4)$$

$$\text{ただし、} \omega_M = \frac{d\theta_M}{dt}, \quad \omega_L = \frac{d\theta_L}{dt}$$

$$\theta_M = \int \omega_M dt, \quad \theta_L = \int \omega_L dt$$

【0006】上記式を用いてねじり振動系のブロック図を描くと、図5のようになる。ここで、 τ_M はモータの発生トルク、 τ_S は軸トルク、 τ_L は負荷トルク、 ω_M 、 ω_L はモータ及び負荷の角速度、 θ_M 、 θ_L はモータの角変位、 T_M 、 T_L はモータの機械時定数（定格トルク⇒定格回転数）、 T_S は軸のばね時定数 $=1/K_m$ 、 R_m は軸の粘性係数である。

【0007】次に軸ねじり振動系の伝達関数について述★30

★べる。粘性係数 R_m ($R_m=0$ とする)を無視したモデルでの発生トルク τ_M からモータ速度(角速度) ω_M 、負荷速度(角速度) ω_L までの伝達関数 $G_{MM}(S)$ と $G_{ML}(S)$ を求める。 τ_M から ω_M までの伝達関数 $G_{MM}(S)$ を求めると(5)式のようなになる。

【0008】

【数3】

$$G_{MM}(S) = \frac{\omega_M}{\tau_M} = \frac{1}{T_M S} \cdot \frac{S^2 + \frac{1}{T_S T_L}}{S^2 + \frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right)} \quad \dots (5)$$

【0009】また、 τ_L から ω_M までの伝達関数 $G_{LM}(S)$ は(6)式のようなになる。

☆ 【0010】

☆ 【数4】

$$G_{LM}(S) = \frac{\omega_M}{\tau_L} = -\frac{1}{T_L S} \cdot \frac{\frac{1}{T_M T_S}}{S^2 + \frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right)} \quad \dots (6)$$

【0011】次に、 τ_M から ω_L までの伝達関数 $G_{ML}(S)$ を求めると、(7)式のようなになる。

◆ 【0012】

◆ 【数5】

$$G_{ML}(S) = \frac{\omega_L}{\tau_M} = \frac{1}{T_M S} \cdot \frac{\frac{1}{T_S T_L}}{S^2 + \frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right)} \quad \dots (7)$$

【0013】さらに、 τ_L から ω_L までの伝達関数 $G_{LL}(S)$ は(8)式のようなになる。50 $G_{LL}(S)$ は(8)式のようなになる。

【0014】

* * 【数6】

$$G_{LL}(S) = \frac{\omega_L}{\tau_L} = -\frac{1}{T_L S} \cdot \frac{S^2 + \frac{1}{T_M T_S}}{S^2 + \frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right)} \quad \dots (8)$$

【0015】ここで、二次遅れ系の伝達関数 $K \omega_n^2 / S^2 + 2\zeta \omega_n S + \omega_n^2$ の一般表現と比較すると、(9) 式となる。

※ 【0016】

【数7】

$$\zeta = 0, \quad \omega_n = \sqrt{\frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right)} \quad \dots (9)$$

【0017】つまり、粘性係数 $R_m = 0$ と近似したことにより $\zeta = 0$ となり、永久振動系となる。また、その共振周波数は ω_n となる。伝達関数の分母

★ 【0018】

【数8】

$$S^2 + \frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right) = 0 \quad \dots (10)$$

【0019】とする極を求めると (11) 式のようになる。

☆20 【数9】

$$S = \pm j \sqrt{\frac{1}{T_S} \left(\frac{1}{T_M} + \frac{1}{T_L} \right)} \quad \dots (11)$$

【0021】(11) 式から極が虚軸上に存在するため、振動系である。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】上述した参考文献A、Bに示されている共振比制御では軸トルクオブザーバのゲインを大きくし、高速に軸トルク τ_s を推定する必要がある。しかし、速度検出ノイズ等を考慮すると、オブザーバゲインを大きくできないことがあり、振動抑制効果が低減するという問題がある。

【0023】かかる問題点を解決するためには、2慣性系の振動抑制、すなわち軸トルクオブザーバのゲインが小さいときでも、2慣性共振系の抑制効果を向上させることができるようにした低慣性制御による2慣性共振系の振動抑制装置が考えられる。

【0024】しかし、実際には、モータ、及び、負荷の軸受け等の損失トルク成分がある。そこで、厳密にこの損失成分を取り扱うとき、これらの成分を補正するためにはどうすれば良いかという問題点がある。

【0025】また、実際には出力可能なトルクには、駆動装置の容量などによる制限が存在する。この場合には、制御不可能となることはやむおえないが、トルク制限から解除されたときに、よりすばやく、軸抑制状態に復帰できる必要がある。このように、出力トルクが制限された時の制御系の挙動はどうあるべきかという問題点がある。

【0026】この発明は上記の事情に鑑みてなされたもので、軸トルクオブザーバのゲインが小さいときでも、

2慣性共振系の振動抑制効果を向上させることができるようにするとともに、トルクリミッタ解除後における特性の安定化を図った低慣性化制御による2慣性共振系の振動抑制装置を提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】この発明は、上記の目的を達成するために、第1発明は、軸トルクオブザーバを有する2慣性共振系と、モータの角速度指令と2慣性共振系の角速度との偏差出力を増幅する比例ゲインの速度アンプと、この速度アンプの出力が供給され、出力に外乱が送出されないようにする外乱抑圧機能部と、この外乱抑圧機能部からの出力が供給され、前記2慣性共振系に振動が発生しないように抑制する振動抑制回路と機械的トルク損失を補正する手段とを備えてなるものである。

【0028】また、この発明は、軸トルクオブザーバを有する2慣性共振系と、モータの角速度指令と2慣性共振系の角速度との偏差出力を増幅する比例ゲインの速度アンプと、この速度アンプの出力が供給され、出力に外乱が送出されないようにする負荷トルクオブザーバと、この負荷トルクオブザーバからの出力が供給され、前記2慣性共振系に振動が発生しないように抑制する振動抑制回路とを備えてなる振動抑制装置であって、前記負荷トルクオブザーバによる負荷トルクを推定し、該負荷トルクをフィードバックする第1の制御系と、2慣性系負荷時にモータ軸トルクを推定し振動抑制をする第2の制御系と、負荷トルクオブザーバによる補償後に負荷の軸

摩擦トルク成分を加算する加算器と、軸振動抑制トルクを加算した後にモータの軸摩擦トルク成分を加算する加算器と、出力トルクを制限するトルクリミッタからなる軸振動抑制する速度制御系によって構成したことを特徴とするものである。

【0029】

【発明の実施の形態】以下この発明の一実施の形態を図面に基づいて説明するに当たっては、この発明では軸トルクを推定し、低慣性化制御を行うことにより、軸ねじ*

$$\left. \begin{aligned} \dot{\omega}_M &= \frac{1}{T_M} \cdot \tau_M - \frac{1}{T_M} \tau_s \\ \dot{\tau}_s &= 0 \end{aligned} \right\} \quad \dots (12)$$

【0031】(12)式は次の(13)、(14)式のように表すことができる。

※【0032】

※【数11】

$$\begin{bmatrix} \dot{\omega}_M \\ \dot{\tau}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{T_M} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_M \\ \tau_s \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{T_M} \\ 0 \end{bmatrix} \tau_M \quad \dots (13)$$

$$y = \omega_M = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_M \\ \tau_s \end{bmatrix} \quad \dots (14)$$

【0033】モータ速度 ω_M は測定可能なので、軸トルク τ_s を最小次元オブザーバを用いて推定する。この最小次元オブザーバから、ゴビナス氏の方法を用いて軸トルク推定オブザーバを求めると、図7のようになる。

【0034】次に低慣性化制御と共振比制御の比較を行う。前述した参考文献Cに示されている低慣性化制御について、その概要を述べる。図8は低慣性化制御が必要とされる応用例で、この図8は自動車のトランスミッションTMの試験装置であり、ダイナモメータDY1がエンジンを、ダイナモメータDY2が負荷を模擬する制御を行う。ここで、エンジンは慣性が小さいために、ダイナモメータDY1の慣性を見かけ上小さく制して、エンジンに見合った形に制御することが要求される。このため、低慣性化制御が提案された。図9は低慣性化制御の

加算器214で加算され、その出力にモータ発生トルク τ_M を得る。このモータ発生トルクは第2偏差器215のプラス端と負荷トルクオブザーバ212の第3偏差器212aのプラス端に与えられる。第2偏差器215のマイナス端には負荷トルク τ_L が与えられ、第2偏差器215の偏差出力は図8に示したダイナモメータDY1とDY2を1慣性系としたときの慣性モーメントの総和 T_{ML} の積分要素部216に入力される。 T_{ML} の積分要素216の出力にはモータの角速度 ω_M が得られる。負荷トルクオブザーバ212は第3偏差器212aの偏差出力が入力されるオブザーバの慣性モーメント T_{ML} の積分要素部212bと、この積分要素部212bの出力に得られるモータ角速度推定値 $\hat{\omega}_M$ とモータ角速度 ω_M との偏差を採る第4偏差器212cと、この第4偏差器212cの偏差出力が供給されるオブザーバゲイン部212dとから構成される。負荷トルクオブザーバ212の出力には負荷トルク推定値が得られ、この推定値は第3偏差器212aと第1偏差器211に供給される。図9において、慣性モーメント演算部213の T_m *は低慣性化したときの慣性モーメントである。

【0036】図20より次の(15)～(17)式が求まる。

【0037】

【数12】

【0035】213は慣性モーメント演算部で、この演算部213には第1偏差器211の偏差出力が与えられる。慣性モーメント演算部213の出力は入力トルクと

$$\left[\begin{array}{l} \omega_m = \frac{1}{S T_{ML}} (\tau_m - \tau_L) \\ \hat{\tau}_L = G_1 (\hat{\omega}_m' - \omega_m) \\ \hat{n}_m' = \frac{1}{S T_{ML}^*} (\tau_m - \hat{\tau}_L) \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \dots (15) \\ \dots (16) \\ \dots (17) \end{array}$$

【0038】ここで、 $T_{ML} = T_{ML}^*$ と仮定すると、(15) ~ (17) 式より次の(18)式が求まる。 * 【0039】

$$\hat{\tau}_L = \frac{1}{1 + S T_{ML}^* / G_1} \cdot \tau_L \quad \dots (18)$$

【0040】つまり、負荷トルクを1次遅れで推定した値が負荷トルク推定値 $\hat{\tau}_L$ となる。ここで、図9の低慣性化制御の原理を述べる。図9を変形すると、図10となる。図10で負荷トルク推定と入力トルク推定が非※20

※常に高速であると仮定すると、モータの加減速トルク τ_{AC} は次の式で表わされる。

【0041】

【数14】

$$\begin{aligned} \tau_{AC} &\triangleq \frac{T_{ML}^*}{T_m^*} (\tau_i - \hat{\tau}_L) \\ &\triangleq \frac{T_{ML}^*}{T_m^*} (\tau_i - \tau_L) \end{aligned} \quad \dots (19)$$

【0042】上記(19)式において、 $T_{ML} = T_{ML}^*$ と仮定すると、このトルク τ_{AC} からモータ角速度 ω_m までの関係は次の(20)式となり、モータの慣性が見かけ★30

★上 T_m^* となる。

【0043】

【数15】

$$\begin{aligned} \omega_m &\triangleq \frac{T_{ML}^*}{T_m^*} (\tau_i - \tau_L) \cdot \frac{1}{S T_{ML}} \\ &= \frac{1}{S T_m^*} (\tau_i - \tau_L) \\ &= \frac{1}{S T_m^*} \tau_{AC} \end{aligned} \quad \dots (20)$$

【0044】以上から負荷トルク推定の高速化が可能なら図9により低慣性化制御が可能となる。

【0045】次に参考文献A、Bに示されている共振比制御について述べる。図5において、 $R_m = 0$ 近似したときの2慣性系のブロック図を示すと、図11になる。図11において、各符号は図5と同じである。ここで、モータ発生トルク τ_m とモータの角速度 ω_m を用いて図17軸トルクオブザーバを構成し、軸トルク推定値 $\hat{\tau}_s$ を $(1-K)$ 倍して、フィードフォワード補償を行う。

そのときの構成図を図12に示す。図12で軸トルク推定値が高速に推定できるとして、軸トルク推定値 $\hat{\tau}_s \triangleq \tau_s$ と仮定すると図13のようになる。図13を変形して参考文献Bに示した共振比制御のブロック図を導出すると図14のようになる。図14より共振比制御を行うと、モータ慣性が見かけ上 $(1/K)$ となる。また、図13の補償回路では τ_i' の後に $(1/K)$ がでてくるので、トルク指令を K 倍する必要がある。ここで、参考文献A、Bより共振比 R と K の関係は次式として得ら

れる。

【0046】

$$K = T_M (R^2 - 1) / T_L \quad \dots\dots\dots (21)$$

R: 参考文献Aより $R^2 = 5$ が振動抑制の最適値

上述した低慣性化制御と共振比制御より次の置換を行うと、低慣性化制御は共振比制御と全く同一となる。すなわち、次の(1)～(3)の置換を行うことにより参考文献BのSFC挿入前のブロック図と等価になる。

(1) 図9に示す低慣性化制御は1慣性系として扱われているが、ダイナモメータDY1とダイナモメータDY2に分けて2慣性系として取り扱う。(T_{ML}→T_Mとして取り扱う)、(2) 図9に示すT_{ML}*→T_M*とする。(3) 図9に示すT_{ML}* / T_M = Kとする。

【0047】 前述のように、実際には、モータ、及び負荷の軸受等の損失トルク成分があり、そこで、厳密にこの損失成分を取り扱うと、図3のブロック図となる。また、前述のように、単機には出力可能なトルクには、駆動装置の容量などによる制限が存在する。この場合には、トルク制限から解除されたときに、よりすばやく軸抑制状態に復帰できる必要がある。これらの問題を解決するためのこの発明の好ましい実施の形態を図1～図2を参照しながら説明する。

【0048】 図1はこの発明の第1実施の形態を示すブロック図で、この図1において、11はモータの角速度指令 ω_M^* とモータの角速度 ω_M との偏差を採る第1偏差器で、この第1偏差器11の偏差出力は、PI制御またはP制御からなる速度アンプ(K ω_c)12に入力される。この速度アンプ12の出力は加算器13aに供給される。

【0049】 13b、13c、13dは加算器、14は遅延回路部、15はモータである。20は外乱抑圧機能部である負荷トルクオブザーバ、30は軸ねじれ振動抑制部である。

【0050】 負荷トルクオブザーバは、偏差器21a、慣性モーメント演算部22、加算器23、偏差器21bおよびゲイン部25によって構成される。軸ねじれ振動抑制部30はローパスフィルタ31とモータ軸トルクオブザーバ32からなり、ローパスフィルタ31は偏差器33a、一次遅れ演算部34、加算器35および遅延回路部36によって構成される。モータ軸トルクオブザーバ32は偏差器39a、慣性モーメント演算部40、加算器41、遅延回路部42、偏差器39bおよびゲイン部43によって構成される。

【0051】 次に図1の装置の動作について述べる。モータ角速度指令 ω_M^* とモータ角速度 ω_M との偏差器11で検出される。この偏差出力は速度アンプ12を経て加算器13aに入力される。加算器13aは速度アンプ12の出力と後述する負荷トルクオブザーバ20の出力を入力として負荷トルク指令 τ_L^* を得、この τ_L^* を負荷トルクオブザーバ20と加算器13bに入力する。

は負荷トルクを駆動するためのトルク成分であるので、この直後に負荷機械損トルク補正分を加える。加算器13bでは負荷トルク指令 τ_L^ と負荷軸機械損トルクT_{LL}を加算して入力トルク τ_i を得、この入力トルク τ_i を軸ねじれ振動抑制部30のローパスフィルタ31と加算器13cに入力する。加算器13cでは、入力トルク τ_i と後述する軸ねじれ振動抑制部30の出力信号を加算してモータトルク指令 τ_M^* 得、この τ_M^* を加算器13dに入力する。また、 τ_M^* はモータ軸出力トルク成分であるので、これに対して、モータ軸の機械損トルクも加算する。加算器13dはモータトルク指令 τ_M^* とモータ軸機械損トルクT_{ML}を加算してその出力信号を遅延回路部14を介してモータ15に入力する。これらの機械損は、回転速度などにより変化するので回転速度に応じたテーブルデータなどにより補正を行う。もし、この損失補正が無い場合には、負荷トルクオブザーバや、軸ねじれ振動抑制制御部分の出力にこれらの損失トルク成分が含まれてくるため、実際に負荷慣性を加速するトルクに対して誤差が生じ、制御特性が悪化する事がある。

【0052】 モータ15の回転速度は速度検出器16によって検出され、速度検出回路17はモータ速度検出信号 ω_M を出力する。モータ速度信号 ω_M は加算器11、負荷トルクオブザーバ20および軸ねじれ振動抑制部30に導かれる。

【0053】 負荷トルクオブザーバ30においては、偏差器21aがトルク指令 τ_L^* とゲイン回路部25の出力信号との偏差信号を慣性モーメント演算部22に導く。加算器23では慣性モーメント演算部22の演算信号と遅延回路部24の遅延信号を加算する。偏差器21bでは加算器23の加算信号とモータ速度信号 ω_M との偏差信号をゲイン部25を介して偏差器21aと加算器13aに導く。

【0054】 軸ねじれ振動抑制部30のローパスフィルタ31においては、偏差器33aが、入力トルク信号 τ_i と遅延回路部36の出力信号を入力として偏差信号を得、この偏差信号を一次遅れ演算部34に導く。加算器35は、一次遅れ演算部34の演算信号とその遅れ信号を加算してその加算信号を偏差器37に導く。モータ軸トルクオブザーバ32においては、偏差器39aが、モータトルク指令 τ_M^* とゲイン部43の出力信号との偏差信号を得、この偏差信号を慣性モーメント演算部40に導く。加算器41は慣性モーメント演算部40の演算信号とその遅れ信号との加算信号を得、その加算信号を偏差器39bに導く。偏差器39bは、加算器41の加算信号と速度検出回路部17のモータ速度信号 ω_M を入力として、その偏差信号をゲイン回路部43を介して偏差器39aと37に導く。偏差器37はローパスフィルタ31の加算器35の加算信号とゲイン回路部43の出力信号との偏差を得、その偏差信号を倍数回路部38に

よって $(K-1)$ 倍した後に加算器 13c に導く。

【0055】第1の実施の形態を適用することにより従来は無視していた、モータや負荷の軸摩擦トルク成分も補正可能となり、振動抑制制御等の精度が良くなる。また、軸摩擦トルク成分をフィードフォワード補償する事により、オブザーバ部分にはこの成分が含まれなくなる。この結果、オブザーバの応答時間遅れの要素がフィードフォワードに置き換えることができ、応答特性も向上する。

【0056】図2はこの発明の第2の実施の形態を示すもので、トルクリミッタが動作した場合の対策を講ずるものである。図2において図1のものと同一又は相当部分には同一符号が付されている。この第2の実施の形態においては、加算器 13d と遅延回路部 14 との間にトルクリミッタ 18 が設けられており、遅延回路部の出力段から負荷トルクオブザーバ 20 と軸ねじれ振動抑制部 30 との間にフィードフォワードループ 50 を形成する。フィードフォワードループ 50 は偏差器 51~53 を有する。

【0057】図2の装置では、図1の装置に対して改善を加えているが、図1の装置の要素が無くても上記対策は有効である。トルクリミッタ 18 は振動抑制制御部 30 の出力トルク指令以降に配置されている。フィードフォワードループ 50 の偏差器 51 はトルクリミッタ 18 を通過したモータトルク指令 τ_{M*} からモータ軸機械損失トルク T_{ME} を引いてモータ軸出力トルク指令 τ_{MO*} を算出する。偏差器 52 はモータ軸出力トルク指令 τ_{MO*} から軸ねじれ振動抑制制御部 30 のモータ軸トルクオブザーバ信号を引いて負荷軸トルク指令 τ_{MI*} を算出する。偏差器 53 は負荷側軸トルク指令 τ_{MI*} から負荷機械損失トルク T_{LM} を引いて負荷駆動トルク指令 T_L* を算出する。

【0058】負荷トルクオブザーバ 20 は負荷駆動トルク指令 T_L* とモータ速度検出信号 ω_M と入力として所定の演算を行う。軸ねじれ振動抑制制御部 30 においては、ローパスフィルタ 31 が負荷側軸トルク指令 τ_{LI*} を入力として演算を行うとともに、モータ軸オブザーバ 32 がモータ軸出力トルク指令 τ_{MO*} とモータ速度検出信号 ω を入力として所定の演算を実行する。

【0059】すなわち、トルクリミッタは軸振動抑制制御の出力トルク指令以降に置かれており、このリミッタを通過したトルク指令 τ_{ME*} から、 T_{MM} のモータ軸を引いてモータ軸出力トルクを τ_{M*} 演算する。そして、このトルクを用いて軸振動抑制を実施する。また、このトルクから、軸振動抑制トルク項や、負荷軸損失トルクを引くことにより、負荷トルク τ_{L*} を求め、これを用いて負荷トルクオブザーバを構成する。このように、トルクリミッタを通過した最終出力トルクから、各トルク要

素を減算したものを各オブザーバのトルク指令として利用することにより、より実際に近い状態にオブザーバモデル部分を近似でき、リミッタ解除後の特性についての安定性が増す。

【0060】トルク指令がリミッタにかかった場合でも、トルクオブザーバはモデル速度を計算しつづける。そのため、出力トルクが制限されたときには、何らかの方法でこのオブザーバ内部事情を修正する必要があったが本実施例では、トルク制限後のトルク成分を逆演算し、実際の出力トルク成分に近い値でオブザーバ演算を行うことにより、トルクリミッタ動作時の特性を改善することができる。

【0061】

【発明の効果】以上述べたように、この発明によれば、軸トルクオブザーバのゲインが小さいときでも、2慣性共振系の振動抑制効果を向上させることができるとともに、軸トルク推定値から負荷トルク推定値を引き算したフィードバック回路部を設けることにより、より一層の振動抑制効果が得られるとともに、負荷の機械損失トルク成分とモータの機械損失トルク成分を補正することにより、特性の安定化が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施の形態を示すブロック図。

【図2】第2実施の形態を示す外乱抑圧機能部のブロック図。

【図3】2慣性系のブロック図。

【図4】2慣性系モデルを示す説明図。

【図5】2慣性系のブロック図。

【図6】モータ部のモデル図。

【図7】軸トルク推定オブザーバのブロック図。

【図8】パワートレンデスタの概略構成説明図。

【図9】低慣性系制御のブロック図。

【図10】図20の変形例を示すブロック図。

【図11】2慣性系のブロック図。

【図12】図11にフィードフォワード補償を行ったときのブロック図。

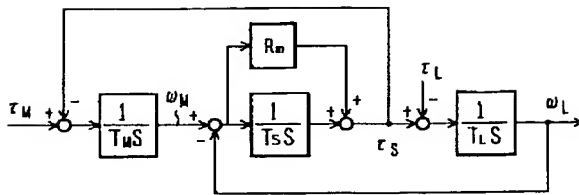
【図13】共振比制御の効果を示すためのブロック図。

【図14】共振比制御の効果を示すためのブロック図。

【符号の説明】

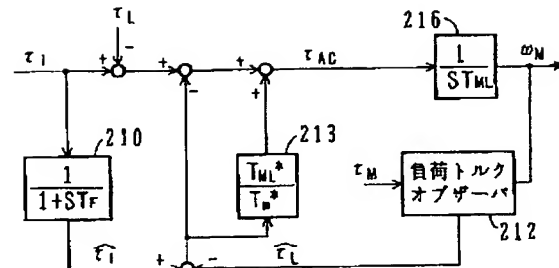
- 11…偏差器
- 12…速度アンプ
- 13a~13d…加算器
- 14…トルクリミッタ
- 20…外乱抑圧機能部である負荷トルクオブザーバ
- 30…軸ねじれ振動抑制部
- 32…モータ軸トルクオブザーバ
- 50…フィードフォワードループ
- 51~53…減算器

【図5】

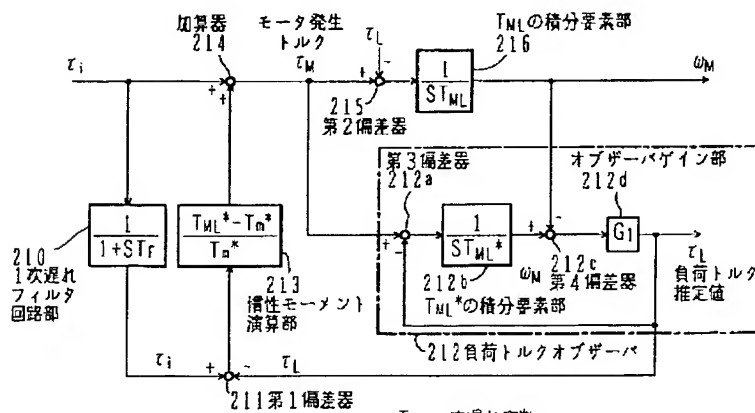


τ_M →電動機の発生トルク
 τ_S →軸トルク
 τ_L →負荷トルク
 ω_M, ω_L →電動機及び負荷の角速度
 θ_M, θ_L →電動機及び負荷の角変位
 T_M, T_L →電動機及び負荷の機械時定数
 (定格トルク→定格回転数)
 T_S →軸のばね時定数 $= \frac{1}{K_m}$
 R_m →軸の粘性係数

【図10】

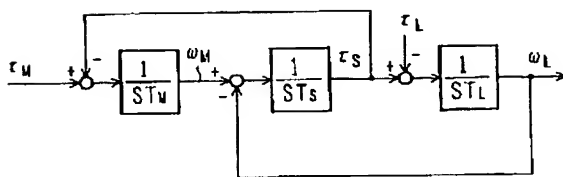


【図9】

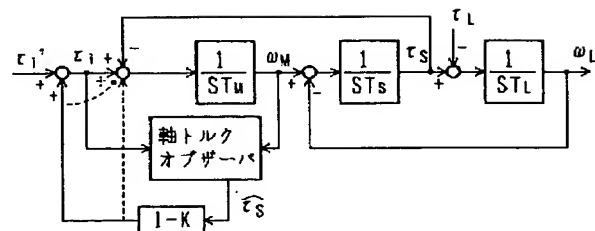


T_F →一次遅れ定数
 T_M →ダイナモメータDY1とダイナモメータDY2を
 1慣性系としたときの慣性モーメントの総和
 T_M^* →オブザーバの慣性モーメント
 G_1 →オブザーバゲイン
 T_m^* →低慣性化した時の慣性モーメント

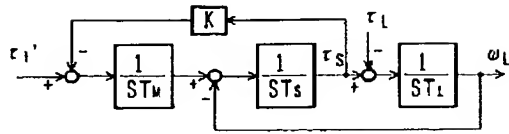
【図11】



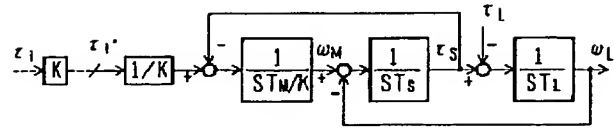
【図12】



【図 1 3】



【図 1 4】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.